

杭基礎の鉛直支持力を考える

5. 開端杭の閉そく効果

うち 内 山 かつ 勝 よし 麗*

まえがき

日本の大都市は沖積平野に発展し、建築物や諸施設が軟弱地盤上に建設されてきたので、杭基礎工法が発達してきたといえよう。開端杭は最初は鋼管杭に限られていたが、昭和42～45年頃からはPC杭（又はAC杭）においても用いられるようになってきた。これらはいずれも打撃工法によって施工されてきたが、近年は騒音・振動に関する制約のために、先端地盤を掘削しながら設置する工法や埋込み工法に変わってきた。開端鋼管杭は肉厚が薄いために、地盤沈下地帯では負の摩擦力によってちょうちん座屈を生じた例が報告され、またPC杭では、打撃貫入時における中空内侵入土の内圧によってたて割れ現象などが見られ、一時、使用が敬遠されることにもなった。しかし、支持層が急傾斜している場合や、リバウンドの大きな粘土地盤においては、これらの開端杭を使用することによって良い結果を示した実績は十分に評価しなければならない。開端杭は地盤条件に応じて適切に使用するならば有効な基礎工法であると考えられる。この場合に、先端支持力に寄与する有効な先端面積、すなわち開端断面の閉そく効果をどう評価するかが重要な問題になる。ここでは、この問題に関連する実験的事実に基づいて、閉そく効果の考え方、開端杭の設計法について述べる。

5.1 開端杭と開放杭及びその先端形状

杭先端がオープンの杭を一般に、開端または開放杭と呼んでいる。筆者は鋼管杭に対して開端杭、PC(AC)杭に対して開放杭と呼んで両者を区分している。杭の実質断面

積を A_P 、中空部分の断面積を A_R とすると、中空部分に侵入する土の詰まり方は A_P/A_R の大きさによって異なる。鋼管杭では $A_P/A_R \ll 1$ であるのに対し、PC(AC)杭では $A_P/A_R \approx 1$ であり、両者の閉そく効果を同様に論ずることはできない。

開端杭の先端部は一般に肉厚を補強したり、補強材を溶接して使用されている。後者の場合、内側に補強材を \oplus 、 $\textcircled{1}$ のように加工して閉そく効果を期待する場合もある。一方、開放杭については図-5.1に示すように先端部のコンクリート肉厚部を鋼板で補強したもの(a)、鋼管をとりつけたもの(b)、侵入する土を制限するために中央に小さな穴を開けた鋼板を取り付けたもの(c)がある。

5.2 中空内侵入土について

5.2.1 管内土の形成過程

先端部の中空部分に侵入した土のせん断強さや圧縮性は、先端支持力に大きな影響を与える。まず、この管内土はどのような過程で侵入し、形成されるのだろうか。これに関する研究は非常に少ない。以下に、PC杭と鋼管杭に関する観察結果について述べる。

実験1¹⁾—PC杭の場合

実験に用いた杭は直径300mmのPC杭で、先端部は図-5.2に示すように、穴径90mmの制御板をとりつけたものと、さらに種々の形状のシューを取り付けたものである。実験敷地は関東ロームが土丹（第3紀の泥岩又はシルト岩）を覆っており、打込み試験は、関東ローム層を数10cm残して切り取った後に行われた（図-5.3）。打込み深さは5～6mである。打込み後数日を経て掘り出して、杭体を壊

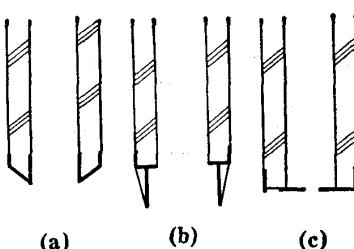


図-5.1 開端杭の先端部

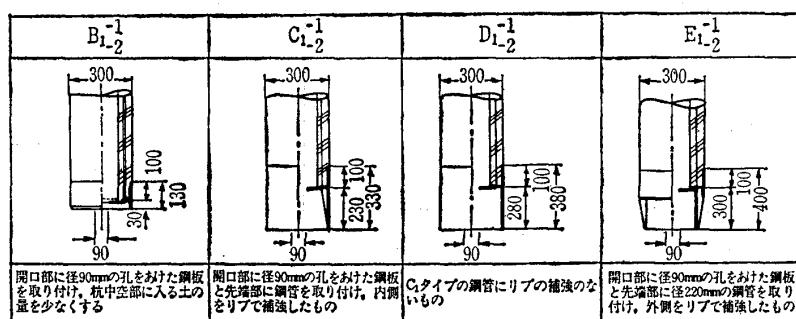


図-5.2 試験杭符号及び形状

*神奈川県工業試験所 専門研究員

講 座

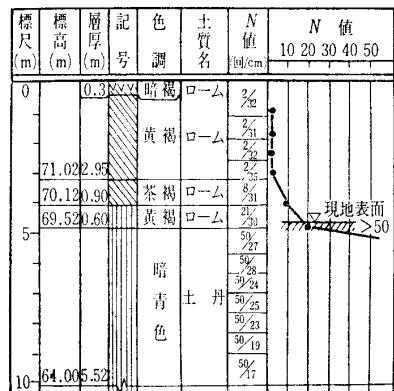


図-5.3 実験1における敷地柱状図

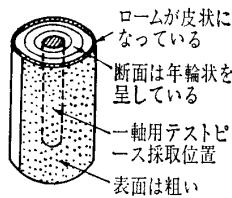


図-5.4 中空内侵入土の観察及び
テストピース採取位置

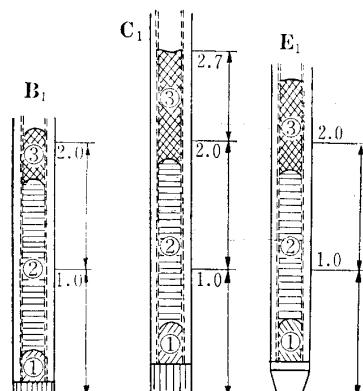


図-5.5 中空部侵入土の状態

して管内土を観察し、更に後述の試験を行った。

中空内の土の断面は図-5.4に示すように、年輪状のしま模様となっている。その最も外側（コンクリートの内側）の薄い部分は、最上部の関東ロームであり、その内側には順次再圧縮された土丹が存在している。深さ方向に関しては、図-5.5に示すように、概略三つに分けることができる。図中①は先端穴から入った土丹が上部に詰まっている土丹を押上げようとする部分で、比較的密であるが、割れ目（打込み時における振動・衝撃によると思われる）が多い部分である。②は上部に詰まつた土と下から押し込まれてくる土によってサンドイッチ状になった部分で、相当な圧力で再圧縮された部分である。③は、打込み時の振動・衝撃によって杭が貫入する際に、中の土が壊れてしまい、詰まりが悪く、表層のロームや土丹の塊が混じり、割れ目も多く、密度も小さい。

打撃によって杭が貫入するにつれて、杭先端から侵入した表土（ローム）は、下方の土によって次第に上部へと押し上げられる過程で、中空内面（杭内壁）に皮状に付着する。これは、杭内壁のコンクリート面がかなり粗いため、コンクリート面と土との付着抵抗の方が侵入土のせん断抵抗より大きいためである。このように、侵入した土は周面摩擦抵抗を受けながら、弓状になって上方へ押し上げられる。先端部からの侵入土量によって、押し上げられる高さが変化するが、ある高さでバランスした中空部内侵入土は、上方部分では乱された表土や土丹がそのまま残る。図一5.5の②の部分のように、先端穴から侵入した土に押された土は、コンクリート周辺から中心に向かって、次第に不動部分を形成してゆく。このことは採取した試料が年輪状を呈し、中心に近くなるにつれて密度が低くなつ

ていることから想像できる。①の部分は打込みによる侵入土が乱され、次第に詰まった状態になる直前で終わることになる。以上がこの杭の管内土の観察結果から想定される土の侵入過程である。

実験2²⁾—钢管杭の場合

試験杭は直径 248.8 mm, 厚さ 9 mm の鋼管杭で, 先端部が全開放のものと, 穴あき制御板の付いた半開放の 2 本

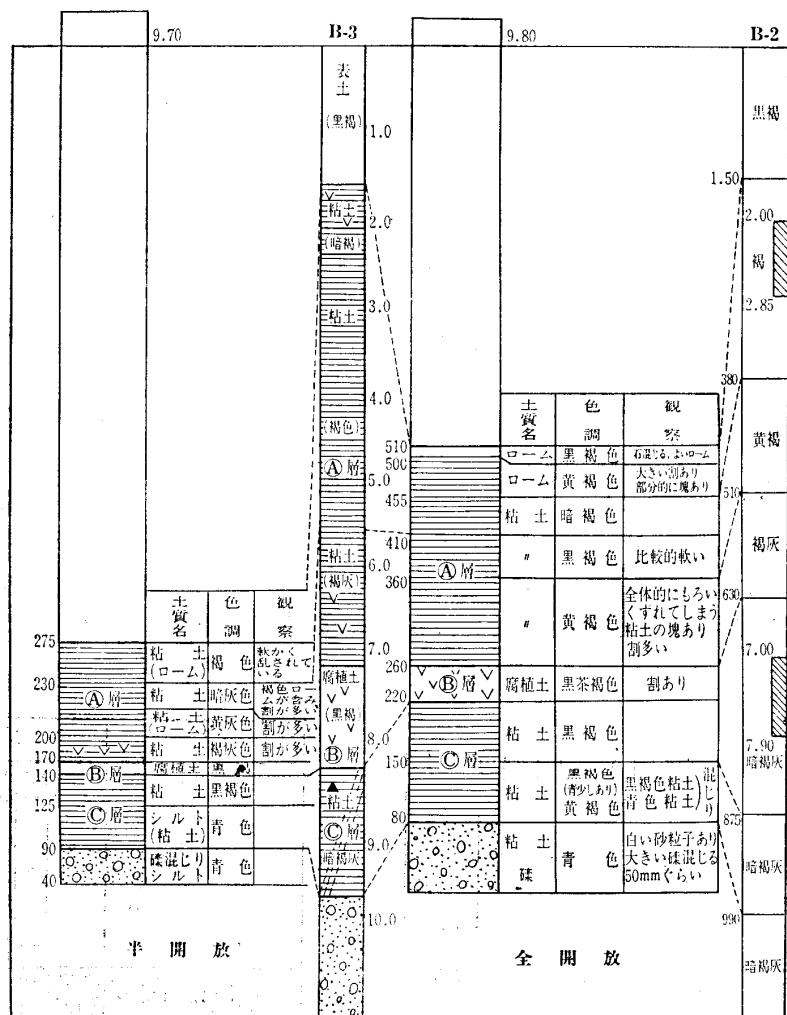


図-5.6 管内土層と原地盤の地層との対比



写真-5.1 内管つり出し準備

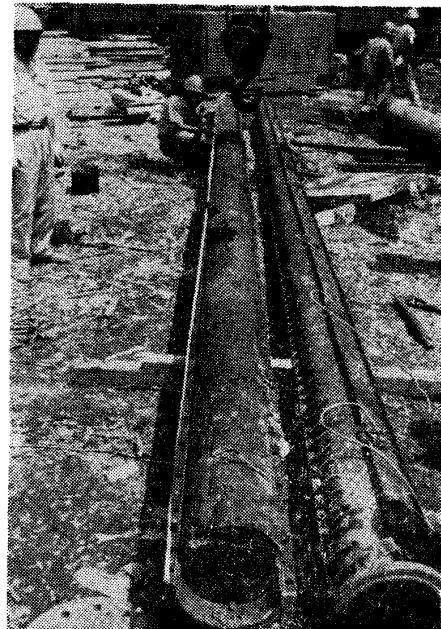


写真-5.2 内管を二つ割りにした状態

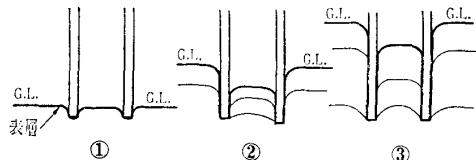


図-5.7 打込みによる中空内侵入土の侵入過程

である。打込みに際しては、外管（直径 400 mm, 厚さ 12.7 mm）をつけて行い（写真-5.1），後で試験杭は写真-5.2 に示すようにたてに二つ割りにして内部に詰まつた土を採取できるようになっている。

図-5.6 は、管内の土の層を現地盤の地層と対比したものである。これによると、半開放の場合には、杭の外に押しやられる土が多く、内部への侵入土が少ないので対し、全開放の場合には、平均して各土層が約半分に圧縮されて詰まっていることがわかる。写真-5.3 はその断面を示したものであるが、地盤の最上層部の土が杭の内壁に付着し

ており、下層になるにつれて内側（中心部）に詰まっている。図-5.7 はこのような管内土の形成過程を模式的に示したものである。①に示した表層に着目すると、杭の貫入につれて、その下の土の侵入によって表層は次第に外側に押しやられ、高い圧力の下で②に示すように、内壁に皮状に付着する。同様な過程で下方の土も③に示すように順次その内側に付着して年輪状の管内土が形成されてゆく。全開放のものと制御板を取り付けたものとを比べると、侵入口の面積の小さい後者の方が盛り上がりが大きいことが写真-5.3 を見ると明らかである。

5.2.2 侵入土の高さ

開端又は開放杭を地盤中に打ち込んだ時に管内に侵入する土の高さには限界がある。その大きさは、土の種類と硬さ及び杭径、先端形状などに関係するが、図-5.8 はその一つの測定例である。この結果から、侵入土の高さはほぼ杭の貫入量に比例することが分かる。その値は、打撃回数



写真-5.3 (a) 杭先端から 0~30 cm の位置での縦断面
外周から中心部にかけてみられるしまもよう。
下部から土の侵入(半開放)状況を表している。

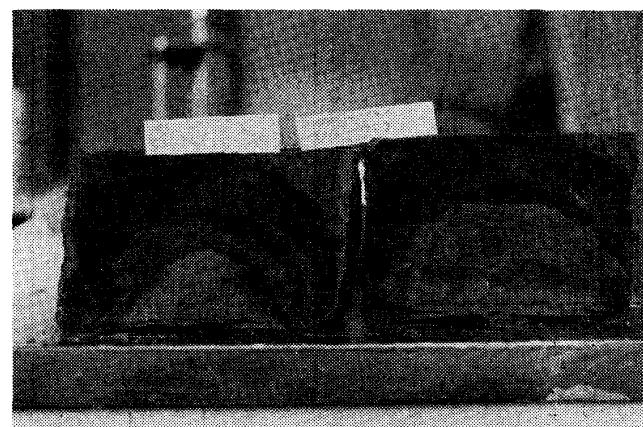


写真-5.3 (b) 杭先端から 110~140 cm の位置での
管内土の縦断面 (全開放)

講 座

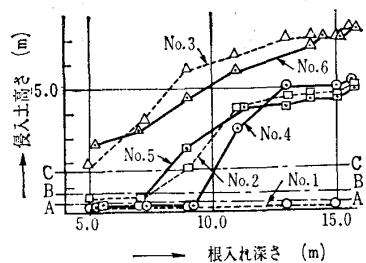


図-5.8 打込み中の管内土の侵入土高さ

表-5.1 中空内侵入土高さ比

杭種	杭径 D (mm)	根入れ深さ LSD (m)	管内土高さ L_d (m)	侵入土高さ比 L_d/LSD	支持層名	支持層へ 根入れ比 D
鋼管	1200	34	28.4	0.835	細砂	1.42
	508	29.8	16.4	0.55	頁岩	9.8
	355	15.9	11.6	0.73	細砂	5.3
杭	318	22.3	15.35	0.69	礫	3.1
	350	16.0	7.0	0.44	礫	2.9
	400	9.3	8.6	0.92	細砂	1
	400	9.8	5.1	0.52	礫	2
P C 杭	400	3.1	2.0	0.65	細砂	2.5

や地盤の N 値などによって異なるが、通常は根入れ深さの0.5~0.8ぐらいと考えてよい。参考までに、PC杭と鋼管杭の場合の侵入土高さ比を表-5.1に示した。

5.3 中空内侵入土の土性の変化

中空内侵入土（管内土）は、自然状態から一度杭の打込みによって乱され、これが、再圧縮されて侵入している。

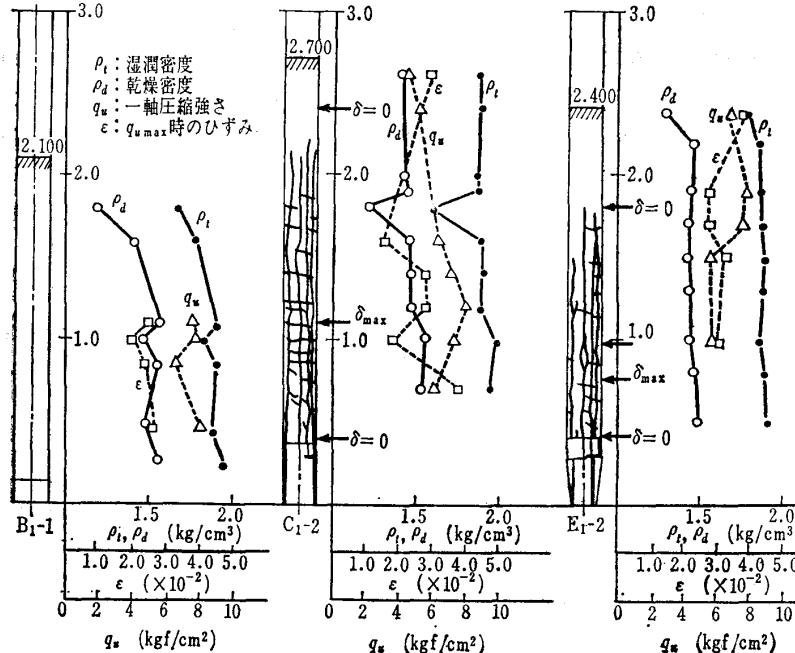


図-5.9 中空部内侵入土の土質試験結果

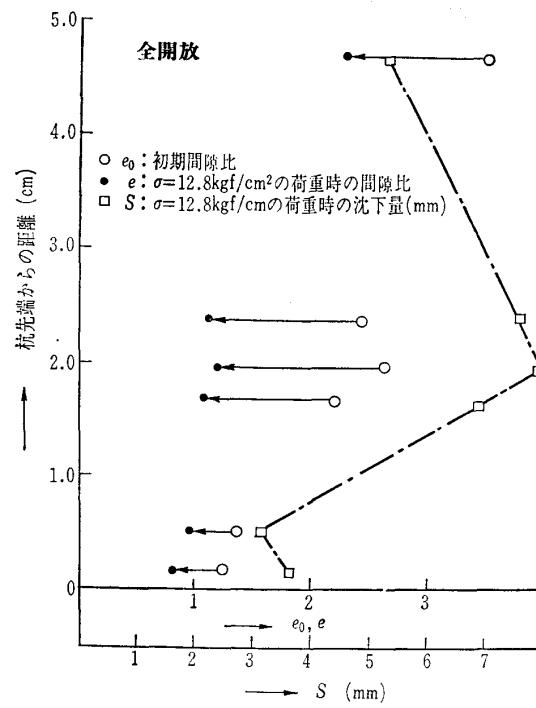


図-5.10 中空部内侵入土の間隙比変化及び沈下量

したがって、自然地盤とはかなり変化していることが想像できる。またこれは、杭周囲の地盤の乱され方とは異なり、狭い限られた範囲の中で圧縮されることになる。

前述の実験1の場合の管内土は、そのほとんどが土丹であり、杭先端部の ρ_d 、 q_{umax} は、図-5.9に示すように現地盤の乱されない土丹と比較すると、乱されない土丹の $q_{umax}=29.2 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\epsilon_f=0.97 \times 10^{-2}$ に対して、管内土の土丹は、 $q_{umax} \approx 9.80 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\epsilon_f \approx 3 \times 10^{-2}$ というように、 q_{umax} も小さくなっているが、 ϵ_f が大きくなっている。これは、管内土が、再圧縮されたことにより、ぜい性材料から、延性材料としての性質に変化したことを意味している。また、実験2における杭先端部の管内土を、

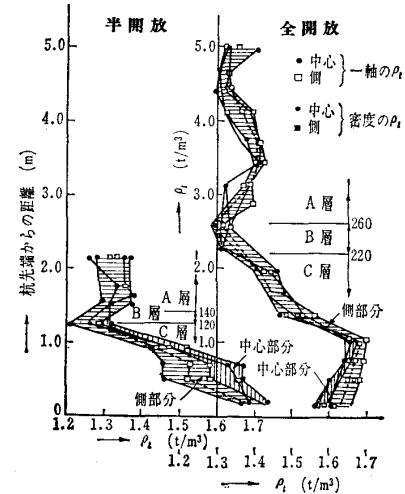


図-5.11 侵入土の密度変化

非排水条件で三軸圧縮試験を行った結果と、現地盤での乱さない試料での三軸圧縮試験の結果とを比較すると（管内土： $\phi=3\sim6^\circ$, $c=0.16\sim0.37 \text{ kgf/cm}^2$ ，乱さない試料： $\phi=16^\circ42'$, $c=0.22 \text{ kgf/cm}^2$ ），粘着力（ c ）は、あまり変化はないが、内部摩擦角（ ϕ ）は、管内土の方がかなり小さくなっている。図-5.10は、杭先端部の管内土の種々の深さから採取した試料について行った圧密試験において $\rho=12.8 \text{ kgf/cm}^2$ のときの圧縮量を示したものである。杭先端付近ではその値は約3.7 mm程度であるが、管内土上層になるにつれて、その圧縮量は大きくなる。図-5.11には、これらの密度分布を示してある。これによると、全開放の場合は、側部分（管壁に近い部分）の方が密度が大きい状態であるのに対し、半開放の場合は、中心部の小さい穴から土が侵入するため、先端部では、中心部分の密度が高くなっていることが分かる。

5.4 閉そく効果

5.4.1 閉そく効果とは

閉そく現象に関する理解又は解釈が人によって異なるために、現在のところ閉そく効果の定義には必ずしも統一的なものがない。以下は筆者の定義である。

開端又は開放杭を打込み又は押し込む過程で、前述のように、管内侵入土は杭の貫入につれて次第に圧縮されてゆき相当のせん断強さを有するようになる。このために、杭先端荷重は先端の肉厚断面のほかに管内土によっても支持されるようになる。このような現象を閉そく効果という。そして、先端抵抗に関する有効面積と全面積（杭先端の外周で包絡される面積）との比を閉そく率といふ。閉そく効果は、管内土のせん断強さと内壁との付着力によって生ずるものであるから、閉そく率は、接地圧の大きさによって異なる。低い接地圧の下では、大きな閉そく率をもっていても接地圧が大きくなるにつれて、閉そく率が低下する場合も考えられる。

勝見ら⁸⁾は極限支持力を対象にした閉そく率を次のように定義している。

$$\text{閉そく率} = \frac{\text{管内土の極限支持力}}{\text{先端地盤の極限支持力}} \times 100\%$$

5.4.2 閉そく効果に関する諸現象

通常の場合は、開端又は開放杭の閉そく効果が完全ではないので、閉そく杭に比べて支持力が小さい。ここでは、閉そく効果に関する諸現象について述べる。

(1) 接地圧について

筆者はパイプ（杭径 10.6 cm, 8.3 cm, 7.0 cm, 5.3 cm）杭の先端部に砂を詰め、ある程度の打撃エネルギーを与え、砂がこれ以上詰まらない状態（みかけの密度限界）になってから、図-5.12のような装置で、接地圧を測定した結果、図-5.13のようになった⁴⁾。接地圧は、いずれも、杭中心部より端部の方が大きいが、杭径が小さい場合には、中心

部と端部の接地圧の差は少ない。

また、杭径が大きい場合には、中心部が小さい接地圧で極限状態になってしまう。また、岸田⁵⁾が上載圧を加えることができる加圧タンクを用いて杭径 15 cm の先端に、応力測定できる五つのリングをつけた閉そく杭に載荷した結果によると、上載圧がない場合には下に凸型の反力分布を示すが、上載圧が存在する場合には、下に凹型の分布を示している。

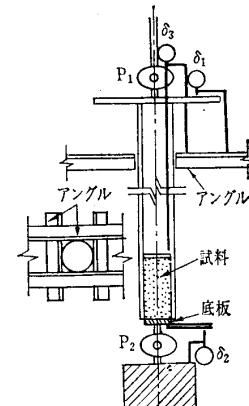


図-5.12 実験装置

筆者の実験はパイプ杭先端の管内土に関するものであり、岸田のは閉そく杭の先端の土の反力に関するものであるので直接比較することはできない。しかし、管内土は内壁で拘束されており、また上載圧が加わっている杭では、杭先端直下の土の側方変位は相当程度拘束されるので、両者の接地圧は類似したものになるのであろう。また、管内土の実験は一様密度の条件で行われたものであるが、実際の管内土は図-5.11に示したように縁部に近づくにつれて密度が高くなっている。したがって、実際の接地圧分布は、図-5.13で得られたものよりも、更に周辺部での接地圧は大きくなっているであろう。

(2) 管内土のアーチ作用について

山肩⁶⁾は、管内土のアーチ効果について弾性体の応力集中問題として有限要素法によって数値計算を行った結果、管内土先端の中心部から管壁に向うアーチが形成されることを示した（図-5.14）。岸田⁷⁾も同じく有限要素解析によって、砂の圧縮性がアーチ作用発生に大きな影響を与えることを示し、杭径が大きくなると、著しくアーチの形成が行われにくくなるであろうと述べている。

以上のことから、管内土が砂の場合には、砂の変形に伴って主応力が管壁の方へ流れるアーチが形成されることによって管内土の抵抗が生じるものと考えてよいであろう。

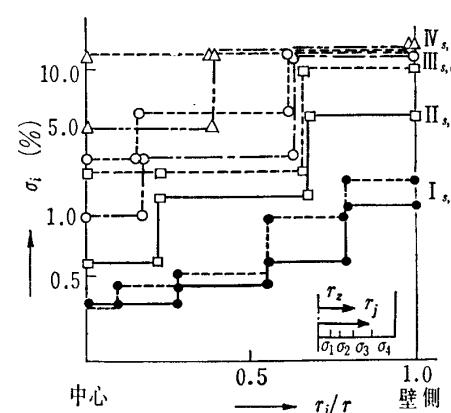


図-5.13 接地圧分布

講 座

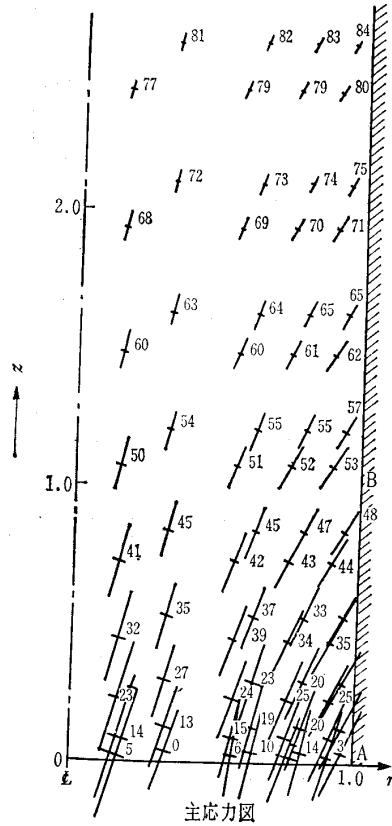


図-5.14 管内土のアーチ作用⁶⁾

しかし、これらの計算結果は、管内土の抵抗の発生機構の一つの解釈を示すものであり、どの程度の杭径のとき、アーチ作用がなくなるのかといったことについては未だ明確にはされていない。

(3) 支持層への根入れ比

開端・開放杭の先端部の管内土の抵抗は、支持層への根入れ比（根入れ長さ／杭径）の関数と考えられ、支持層への根入れ比が小さいときは、管内土の抵抗が小さいため、杭の支持力も小さくなってしまう。

小松ら⁸⁾は、钢管杭（外径 1016 mm）先端オープンの杭を砂礫層に打ち込み、一連の載荷試験を行って支持層への根入れ深さと、閉そく効率を求めた。その結果を整理すると、表-5.2 のようになる。これによても、杭の支持力が、根入れ比に支配されることが分かる。

駒田ら⁹⁾が行った杭径 216.3 mm のパイプ杭での模型実験の結果によると、完全閉そくになるための必要根入れ比は、サーチャージのない場合で $7D$ (D は杭径) サーチ

表—5.2

根入れ比	閉そく率
5D	42%
8D	55%
12D	63%
>20D	100%

(1) その他の因子

山原¹⁰⁾は、管内土に作用する力の釣合方程式を解いて管内土の極限抵抗を求め、これに寄与する諸定数を室内実験によって測定し、現場実験と計算値を比較し、砂質

土と粘性土について、これらの諸定数の実用値を提案している。

5.4.3 現行設計法

現在、開端杭の設計に際しては、日本建築学会の基礎構造設計規準・同解説（1974）に準拠している場合が多い。これによると、閉そく効率 η を次式で定義し、

R_{P0} : 開端杭先端肉厚部の支持力

R_{IF} : 開端杭内部に詰まった土による摩擦力

R_{PC} : 閉端杭の先端支持力

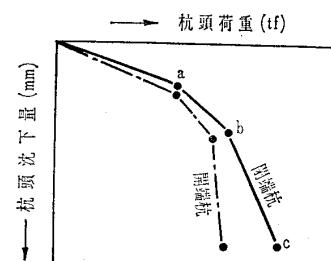
④は杭径が 450~650 mm の鋼管杭については次式で与えられる。

筆者は、すべての開端・開放杭に上記の設計法を使うことに疑問を感じている。つまり地盤状況、杭種によって異なるべきと考えている。したがって、筆者の提案を示してみたい。開端杭の場合で、支持層が砂礫、硬質砂の場合は現行でよいが、支持層が土丹の場合は、(2)式を $2 \leq L_B/d_I \leq 3$ 、 $3 \leq L_B/d_I$ としたい。また、開放杭では、砂礫、硬質砂の場合、(2)式は、 $1 \leq L_B/d_I \leq 3$ 、 $3 \leq L_B/d_I$ とし、土丹の場合は $1 \leq L_B/d_I \leq 2$ 、 $2 \leq L_B/d_I$ とすべきと考えている。これは、確たるデーターはないが、打込み時での杭体の破損などを考慮して、一応の提案をするものである。

5.5 開端, 開放杭の支持力

5.5.1 開端杭の載荷試験結果について

一般に開端杭の支持力は、閉端杭に比べて支持力が劣る。これは、主として先端部の閉そく度の不完全さによるものであるが、開端杭は打込み中の排土量が少ないので、周囲地盤の締固めの度合が少ないため、周面抵抗が小さいことも影響していると考えられる。図-5.15は閉そく杭と開端杭の荷重-沈下曲線の模式図である¹²⁾。荷重の増加につれて杭は沈下するが、沈下が小さい間は大部分の荷重は周面摩擦で受け持たれるので、開端杭の方がわずかに沈下が多い程度である。a点を越えると、周面摩擦内は一部で最大値に達し、b点に至っては全周面の摩擦抵抗が最大に発揮される状態になる。更に荷重が増加すると、先端の荷重が増加するので、両者の沈下には相当な差が生じ、開端杭はやがて極限支持力に達する。



もちろん、すべての載荷試験結果が模式図のように図-5.15 閉そく杭と開端杭の荷重-沈下曲線¹²⁾

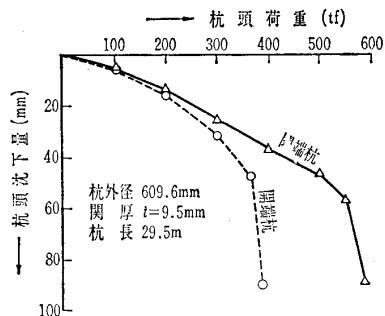
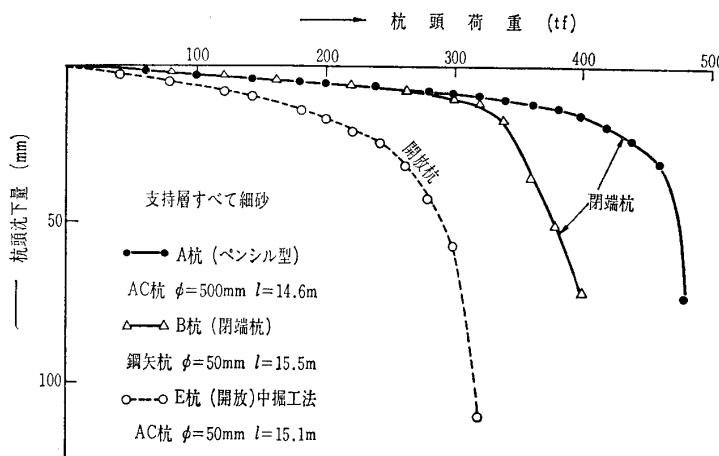
図-5.16(a) 開端・閉端杭の載荷試験結果例¹²⁾

図-5.16(b) 施工法別による載荷試験結果の例

なるわけではない。閉端杭の載荷試験の例を図-5.16に示す。図-5.16(a)は、鋼管杭での比較であり、比較的模式図に近い。図-5.16(b)は、施工法別による支持力調査²⁰⁾のために行った実験結果であり、先端閉そく型の杭と開放の杭では、かなり支持力上差が見られる。図-5.16(b)中、A、B杭は打撃工法であるが、E杭は中掘り工法であり、途中、支持層近くなつてから打撃工法を使用している。中掘り工法を用いた開放杭は、この場合杭周面の地盤も緩み、杭先端での閉そく効果は、あまり期待できなかつた例であろう。

山肩¹³⁾は、載荷試験結果を統計的に整理し、閉端杭の極限支持力(R_{ut})は降伏時(R_{yt})の1.28倍となる。ただし、

杭先端に補強リングが付いている場合は、 $R_{ut} \geq 1.28 R_{yt}$ としている。

5.5.2 先端部の管内土が支持力に及ぼす影響

開端・開放杭の先端部の極限支持力は、①管内土による杭内壁に生ずる摩擦力によるものと、②管内土のせん断力の小さい部分から切れてしまうパンチングシアーによるもののうち小さい方で決定されるものと考えられる。

(1) 管内土の杭内壁に生ずる摩擦力

管内土の摩擦応力が支持力に関与するのは、杭先端部と中間部の管内土であることを想定し、筆者¹⁴⁾は、模型実験において、パイプ($\phi=8.25\text{ cm}$)に砂を詰め、見掛けの密度限界における砂の摩擦応力と変位、及び見掛けの密度限界に至っていない砂の摩擦応力と変位の関係を測定した。これは、管内土が、杭先端部では土の密度が大きく密度限界に至っているが、中間部では密度が小さく、未だ密度限界には至っていないからである。その結果を図-5.17に示す。これによると、同じ変位であっても杭先端部の密度の大きい方が摩擦力が大きいこと、砂の場合は変位が2mm程度($0.02D$)の比較的小さい変位量で降伏していることが分かる。また、土の降伏時の摩擦抵抗(f_{sy})と土の一面せん断試験から求めた ϕ_r 、 c_r の関係を整理すると $f_{sy} = (0.5 \sim 1.5) \tan \phi_r$ 、 $f_{sy} = (0.5 \sim 2.0) c_r$ として求めることができる。

山肩¹⁵⁾によれば閉端杭の管内土の摩擦抵抗に関して、管内土より生ずる摩擦抵抗(f_i)は、杭先端部の局部に限られ、この f_i は、杭の沈下の増大に伴つて杭先端より塑性化が進行する。管内土の f_i が杭全長にわたつて有効に作用するには、大きな沈下量が必要であり実用的な沈下量の範囲内ではその抵抗はあまり期待できない。

(2) 管内土のパンチングシアー

閉端杭の先端部は、いずれにしても杭径が大きくなれば、管内面と土との摩擦力より、管内土の中心部におけるパンチングシアーで破壊してしまうことが考えられる。これは管内土が、剛性の高いものではなく、しかも中心部の密度が小さくなつてゐるからである。このパンチングシアーに関する論文は見当たらないが、内面壁での周面摩擦力が十分作用していることが必要条件になるだろう。

5.6 閉そく効果における今後の課題

5.6.1 閉端・開放杭の設置工法について

杭打ち工法から埋込み工法へと変遷する中で、杭の支持力(特に杭の先端部と土との相互作用という観点からみると)にとつては、打撃工法が最も良い工法と考えられる。したがつて、現在使用されている杭打ち機(防音カバー付きもあるが)以上のものが開発されねばならない。また、埋込み杭については、先端部をコンクリートや、セメントミルクで固める工法は、杭先端部の閉そく効果の点では、管内土の内壁との摩擦力よりは、期待できるものと思われ

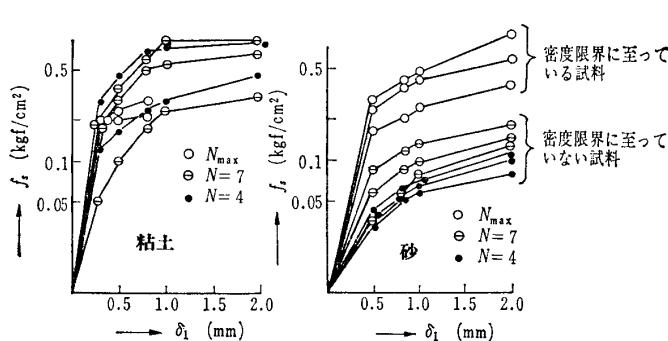


図-5.17 管内土の摩擦応力と変位

講 座

るが、先端地盤を乱したりする恐れは十分にある。これは、閉そく効果を期待することは、杭の先端抵抗を期待することであり、先端部の地盤を乱しては、かえって不利となるからである。いずれにせよ、閉そく効果が十分に得られる工法の開発が、今後の研究課題であろう。

5.6.2 閉そく効果

① 閉そく効果を期待するには、4.2(3)で述べた根入れ比が問題となるが、根入れ比がどの程度であれば良いのか、これは支持層の地盤の種類にも関係するものであり（例えば、礫、砂、土丹）、今後更に多くの実験データーによって決めるべきと考える。

② また、設計時にはボーリング柱状図のみで設計し、実際に現場で、この根入れ比をどのように管理するのか、はなはだ疑問でもあり、現場での管理の仕方を徹底させる必要があろう。

③ 閉そく効果のメカニズムは、4.2で述べたように管内土の摩擦応力にも関連するが、この摩擦応力などを比較的簡単に知る方法（例えばN値などの関係）が求められれば、設計上大いに利用されるであろう。

④ 管内土の土質工学的性質が、自然地盤及び杭外周面の土とどのように変化し、これが長期間経て変化するのか、しないのか、かなり時間をかけた研究が必要と思われる。

⑤ 開放杭では杭先端部の肉厚が厚いため、開端杭と比較して、この先端部でのメカニズムが異なるものと思われる。

あとがき

開端・開放杭の支持力を大にするには、閉そく効果を十分に発揮できる工法を考えてゆかねばならないし、その杭の施工上の有効性、利点を十分尊重して使用しなければならない。しかし、閉そく効果についても、まだ多くの問題点を残しながら現実に現場で使用しているが、現場での種々の現象は、見落しがちである。とかく現場でのトラブルは表面に出てこないが、これらが研究上非常に役に立つことがある。研究成果がいかに現場に有効に利用されるかは工学的な発展のためには必要なことであろう。本文もそういった意味も含めて、現状の研究成果をふまえながら、筆者なりの判断でまとめたものである。閉そく効果の問題は、

現場での実験例も少なく、外国文献も少ない。それなりに今後の研究課題としてゆく必要があるものと思われる。

参考文献

- 1) 六車・宇都・内山：開放シューPCグイ先端部のたて割れに関する実験的考察、土と基礎、Vol.19, No.5, 1971.
- 2) 杭打施工小委員会：開放杭のたて割れに関する実験的研究、プレストレストコンクリート、Aug. 1973.
- 3) 勝見・渡嘉敷・川崎：開端杭の閉塞効果に関する基礎的研究、第14回土質工学研究発表会、1979.6.
- 4) 内山・小林：開放グイにおける管内土についての一考察、第11回土質工学研究発表会、1976.6
- 5) 岸田・安富・高野：砂地盤に埋込まれたクイの先端部接地圧分布、第9回土質工学研究発表会、1974.6.
- 6) 山肩・永井：鋼管ぐい先端内部のアーチ効果に関する試論、第9回土質工学研究発表会、1974.6.
- 7) 岸田・伊勢本：開端ぐいの内部に詰った砂の圧縮変形、第10回土質工学研究発表会、1975.6.
- 8) 小松・肱黒・富永：大口径鋼管グイの閉ソク性に関する2, 3の実験、土と基礎、Vol.17, No.5, 1969
- 9) 駒田・大志万・森山：開端鋼管ぐいの先端閉塞効果について（第1報）、第10回土質工学研究発表会、1975.6.
- 10) 山原：鋼管ぐいの閉塞効果と支持力機構、清水建設所報、1964.4.
- 11) 日本建築学会：基礎構造計算規準・同解説、1974.
- 12) 田島：開端グイの先端閉そく効果の考察、第1回土質工学研究発表会、1969.6.
- 13) 山肩・永井：打込み鋼管ぐい（開端）の鉛直載荷試験結果の統計値、日本建築学会大会梗概集、1979.9.
- 14) 内山・小林：開放グイを想定した管内土の実験的研究（モデル実験）、第12回土質工学研究発表会、1977.6.
- 15) 山肩・永井：開端鋼管ぐいの支持力に関する考察（その1・2）、日本建築学会論文報告集、第212, 213号、1973.10, 11.
- 16) 岸田・有原・原：開端グイの内部に詰った砂の挙動、第9回土質工学研究発表会、1974.6.
- 17) 富永・越後・鹿毛：大口径鋼管グイの支持力について、第11回土質工学研究発表会、1976.6.
- 18) 岸田・青木：開端杭内部に詰った砂の極限抵抗力、第14回土質工学研究発表会、1979.6.
- 19) 横尾・原田・山肩・佐藤：各種基礎クイの比較実験、土と基礎、Vol.9, No.5, 1961.
- 20) 高強度パイプ研究会施工分科会：施工法別による支持力調査報告書、1976.6.
- 21) N. R. McCammon and H. Q. Golder: Some loading Tests on Long Pipe Piles, Géotechnique 20, No. 2, pp. 171~184, 1970.

（原稿受理 1979.12.27）

付記：著者の内山氏が長期海外出張のため、本講座主査の小泉都立大教授に本稿の一部を修正または加筆していただきました。

